班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧的寄生功能反应

黄 俊[1], 吕要斌[2,*], 张 娟[3], 黄 芳[2], 贝亚维[2]

(1. 浙江省农业科学院花卉研究开发中心, 杭州 311202; 2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江省植物有害生物防控重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 杭州 310021; 3. 浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058)

摘要: 为评估班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* Hayat 对其寄主扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 的控制作用, 在实验室条件下(温度 25 ± 1℃, 相对湿度 70% ± 5%, 光周期 14L:10D), 研究了班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫、雌成虫的寄生功能反应及其自身密度效应。结果表明: 寄生功能反应均符合 Holling Ⅱ型方程, 且受寄主密度和寄生物密度的影响。当扶桑绵粉蚧 3 龄若虫和雌成虫的密度分别大于 15 头/容器和 10 头/容器时, 班氏跳小蜂的寄生量增加幅度开始减小; 以瞬间攻击率/处理时间(α/T_h)为评价指标, 班氏跳小蜂雌蜂寄生扶桑绵粉蚧 3 龄若虫时, α/T_h 为 21.1307, 且大于雌蜂寄生雌成虫的情况(α/T_h 为 6.2506); 班氏跳小蜂寄生功能反应有较强的种内干扰作用, 随着自身密度的增加, 寄生效能逐渐降低; 通过方程 $E = QP^{-m}$ 能很好地模拟班氏跳小蜂的寻找效应(E)与其自身密度(P)之间的关系, 对于 3 龄若虫和雌成虫的模拟结果分别为 $E = 0.2931P^{-0.6240}$ 和 $E = 0.0944P^{-0.4840}$。本研究为利用班氏跳小蜂开展扶桑绵粉蚧生物防治提供了基础数据和方法。

关键词: 班氏跳小蜂; 寄生; 功能反应; 寻找效应; 密度效应

中图分类号: Q968.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2012)12-1418-06

Parasitic functional response of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) to *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae)

HUANG Jun[1], LÜ Yao-Bin[2,*], ZHANG Juan[3], HUANG Fang[2], BEI Ya-Wei[2] (1. Flower Research and Development Centre, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 311202, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 3. Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: In order to evaluate the control effects of *Aenasius bambawalei* Hayat on the 3rd instar nymphs and female adults of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, the parasitic functional response of *A. bambawalei* to *P. solenopsis*, and the density effect of *A. bambawalei* were determined under the laboratory conditions of 25 ± 1℃, RH 70% ± 5% and 14L: 10D. The results showed that the response of *A. bambawalei* fitted Holling type Ⅱ model and was affected by the densities of host and parasitoid. When the densities of the 3rd instar nymphs and female adults of *P. solenopsis* were higher than 15 and 10 individuals per container, respectively, the increase rate of parasitism by *A. bambawalei* began to decrease. Taking the ration of instant attack rate to parasitizing time (α/T_h) as an evaluation index, the parasitizing efficiency was 21.1307 for the 3rd instar nymphs, which was higher than that for female adults (6.2506). Additionally, there was a stronger intraspecific interference in the parasitic functional response of *A. bambawalei*. The number of parasitized hosts decreased with the increasing density of *A. bambawalei*. The relationship between searching efficiency (E) and density (P) of *A. bambawalei* could be well simulated with the model $E = 0.2931P^{-0.6240}$ for the 3rd instar nymphs, and with the model $E = 0.0944P^{-0.4840}$ for female adults. This study provides essential data and methods for the research and application of *A. bambawalei* for biological control of *P. solenopsis*.

Key words: *Aenasius bambawalei*; parasitization; functional response; searching effect; density effect

---

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201103026); 浙江省重点科技创新团队项目(2011R50034-14)

作者简介: 黄俊, 男, 1981 年生, 浙江文成县人, 博士, 助理研究员, 研究方向为入侵生物学及害虫综合治理, E-mail: junhuang1981@yahoo.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: luybcn@163.com

收稿日期 Received: 2012-08-02; 接受日期 Accepted: 2012-12-10

扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley，又名棉花粉蚧，隶属于半翅目粉蚧科(Tinsley，1898；Cockerell，1902)，是我国近年来出现的一种严重威胁大田作物、园林观赏植物、果树和蔬菜等经济作物安全生产的入侵性害虫，该虫极易随人为活动远距离快速扩散传播，已引起世界许多国家及地区的高度关注(Hodgson *et al.*，2008；陆永跃等，2008；武三安和张润志，2009；Vennila *et al.*，2010；Zhang *et al.*，2011；朱艺勇等，2011；Zhou *et al.*，2012)。由于该虫具有繁殖力大、世代重叠、抗逆性强及体背厚蜡壳等特点(Hodgson *et al.*，2008；关鑫等，2011；黄芳等，2011；郑婷等，2011；Prasad *et al.*，2012；王莹莹等，2012)，使其生态优势明显，在防治上难以取得突破。班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* Hayat，隶属膜翅目跳小蜂科(Hayat，2009)，是扶桑绵粉蚧若虫至成虫期的优势种寄生蜂(陈华燕等，2010，2011)，主要寄生该粉蚧的2龄、3龄若虫以及雌成虫，对雄虫预蛹、蛹和成虫无寄生行为(Fand *et al.*，2011；黄玲等，2011；Vijaya *et al.*，2011)，野外寄生率高达50%~62%(Rishi *et al.*，2009；Prasad *et al.*，2011；Dhawan *et al.*，2011)，具有良好的生物防治应用前景。为了评估班氏跳小蜂对其寄主扶桑绵粉蚧的控制作用，本实验室内测定了该蜂对扶桑绵粉蚧3龄若虫和雌成虫的寄生功能反应以及该蜂自身密度对寻找效应的影响等，旨在更好地了解其寄生性能，评估其控害潜能，为开展生物防治扶桑绵粉蚧提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

班氏跳小蜂为浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所继代饲养种群，2012年3月底引进并在人工气候室内(温度25±1℃，相对湿度70%±5%，光周期14L∶10D)以扶桑绵粉蚧为寄主维持种群，现已连续繁殖3代以上。

扶桑绵粉蚧于2011年8月采自浙江省杭州萧山锦科花卉园艺场的大花马齿苋 *Portulaca grandiflora* Hook 上，室内以盆栽棉花 *Gossypium hirsutum* L.(品种为"浙棉607")为寄主饲养继代至今。

1.2　扶桑绵粉蚧密度对班氏跳小蜂寄生的影响

剪取带叶柄(长度3~5 cm)的棉花叶片，用脱脂棉均匀包裹叶柄，包裹厚度以能插入塑料牛奶杯(450 mL，浙江南峰生活用品有限公司生产)盖上预留的小孔(直径0.8 cm)为准，牛奶杯盖上另一预留小孔(直径0.8 cm)则插上蜂蜜条(由2 mL规格且去除底部的塑料指形管和蘸有10%蜂蜜水的脱脂棉条组成)(图1：A)。在棉花叶片上分别接入不同虫态(3龄若虫和雌成虫)的扶桑绵粉蚧进行分类试验，各虫态设5个密度处理，即5，10，15，20和25头/容器，通过简易吸虫器(玻璃管吸口+橡胶管)分别往牛奶杯中吹入2头已经交配待产卵的班氏跳小蜂雌蜂(羽化后24 h)，最后将整个装置倒置在装有自来水的一次性塑料杯上(图1：B)，且以棉花叶柄能浸入水中为宜。试验装置置于恒温气候箱(温度25±1℃，相对湿度70%±5%，光周期14L∶10D)内，待寄生24 h后，去除成蜂，5 d后每日观察扶桑绵粉蚧被寄生情况。通过扶桑绵粉蚧虫体变硬、粉状物脱落且壳体变黄褐色作为其被寄生的判定标准(陈华燕等，2010)，僵蚧外部形态如图2所示。每处理设5次重复。

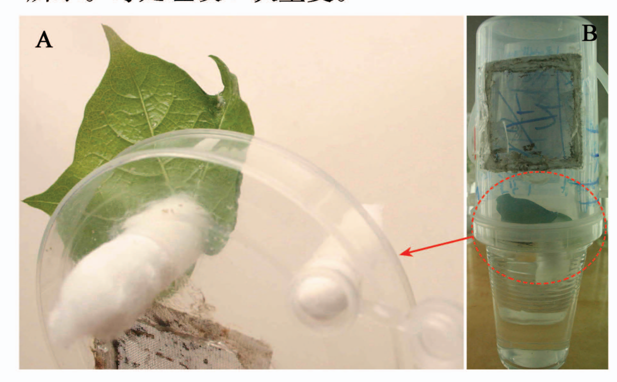


图1　寄生功能反应试验装置

Fig. 1　Experimental equipment for parasitic functional response

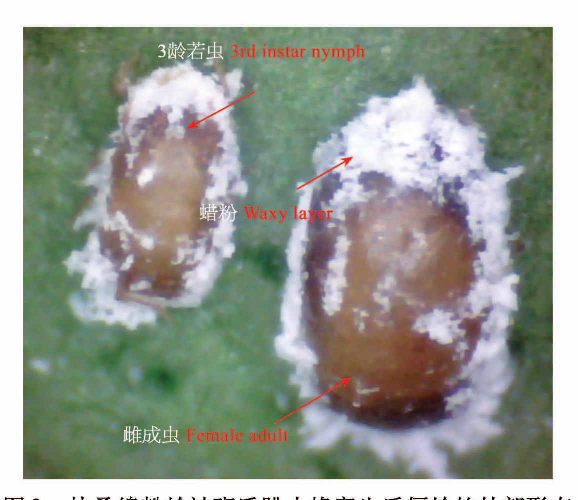


图2　扶桑绵粉蚧被班氏跳小蜂寄生后僵蚧的外部形态

Fig. 2　External morphology of the mummified mealybug (*Phenacoccus solenopsis*) after parasitization by *Aenasius bambawalei*

1.3 班氏跳小蜂自身密度对寄生的干扰效应

试验装置及操作步骤同 1.2。设置 5 个班氏跳小蜂密度处理，即每个装置内分别吹入 2，4，6，8 和 10 头班氏跳小蜂雌蜂及接入 30 头扶桑绵粉蚧 3 龄若虫或 15 头雌成虫，每处理设 5 次重复。

1.4 数据处理与统计

扶桑绵粉蚧密度对班氏跳小蜂寄生的影响采用 Holling 功能反应方程Ⅱ型进行模拟，模拟方程为 $N_a = \alpha T_t N/(1 + \alpha T_h N)$ (Holling，1959)，式中 N_a 为被捕食(寄生)的猎物数，α 为瞬间攻击率或寻找效率，T_t 为试验的持续时间，N 为猎物密度，T_h 为捕食(寄生)1 头猎物所花的时间(即平均处理时间)。班氏跳小蜂自身密度干扰效应采用 Hassell (1969)提出的模型方程进行模拟，即 $E = QP^{-m}$，式中 E 为寻找效应，m 为相互干扰系数，P 为寄生物密度，Q 为搜寻常数。所有数据采用 DPS(Data Processing System)软件进行统计分析，Excel2003 软件作图，数据以平均数 ± 标准误(mean ± *SE*)表示，模型方程的拟合性通过卡方检验。涉及到单因素方差分析则用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 扶桑绵粉蚧密度对班氏跳小蜂寄生的影响

在不同的扶桑绵粉蚧 3 龄若虫及雌成虫密度下，班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧的寄生量受寄主密度影响显著，而且寄主密度对寄生量的影响因寄主虫态不同而不同(图 3)，当寄主为 3 龄若虫时，寄主密度对寄生量的影响显著($F = 28.44$，$df = 4$，$P < 0.001$)，而当寄主为雌成虫时，影响则比较小($F = 11.18$，$df = 4$，$P < 0.001$)；当寄主密度达到一定程度时(每容器 3 龄若虫及雌成虫数量分别大于 15 头和 10 头)，班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧的寄生量增加幅度开始减小。根据图 3 用 Holling Ⅱ型模型的反应公式计算出班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫及雌成虫的寄生功能反应方程及相关参数(表 1)。结果表明，参数估计的相关系数 r 均达到极显著水平($P < 0.01$)，拟合优度检验 χ^2 值均小于 $\chi^2_{0.05}$，说明理论值与观察值比较吻合。从表 1 还可以看出，班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫的瞬间攻击率(α)(0.9488)要大于雌成虫(0.8251)，而处理时间(T_h)前者(0.0449)要明显小于后者(0.1320)，这样导致前者的瞬间攻击率/处理时间(α/T_h)(21.1307)则显著大于后者(6.2506)。通过处理时间得到班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫和雌成虫的寄生上限值分别为 22.3 头和 7.5 头。

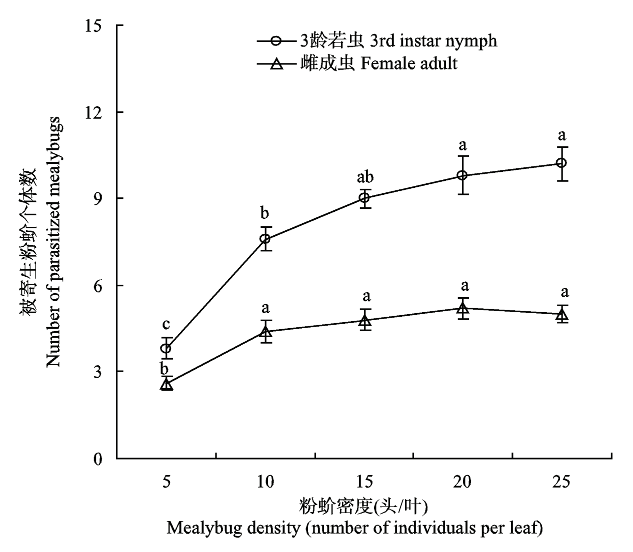


图 3 扶桑绵粉蚧虫态及密度对班氏跳小蜂寄生的影响

Fig. 3 Effects of developmental stage and density of *Phenacoccus solenopsis* on the parasitic functional responses of *Aenasius bambawalei*

同一虫态数据(平均值 ± *SE*)上不同字母表示在 0.05 水平上差异显著(Duncan 氏新复极差法)。Means ± *SE* of the same developmental stage with different letters are significantly different at the 0.05 level (Duncan's multiple range comparison).

2.2 班氏跳小蜂自身密度对寄生的干扰效应

不同密度的班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫及雌成虫的寄生情况见表 2。随着班氏跳小蜂密度的增加，被寄生扶桑绵粉蚧数量也显著增加(3 龄若虫：$F = 21.90$，$df = 4$，$P < 0.001$；雌成虫：$F = 17.83$，$df = 4$，$P < 0.001$)；然而班氏跳小蜂的寻找效应却随自身密度的增加而降低，说明在班氏跳小蜂的寄生过程中，种群内不同个体之间存在相互干扰现象。按照 Hassell (1969)提出的模型方程进行拟合，结果如表 3 所示。拟合模型的相关系数 r 值均达到显著，拟合优度检验 χ^2 值均小于 $\chi^2_{0.05}$，说明理论值与观察值比较吻合。班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧对 3 龄若虫的搜寻常数 Q(0.2931)和干扰系数 m (0.6240)均大于雌成虫($Q = 0.0944$；m = 0.4840)。

3 结论与讨论

寄生蜂的功能反应研究是衡量寄生蜂寄生能力的重要指标之一，是评价寄生蜂对害虫的控制作用的重要依据(章玉苹等，2010)。本研究结果表明班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫及雌成虫的寄生功

表 1　班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫和雌成虫的寄生功能反应参数

Table 1　Parameters of parasitic functional responses of *Aenasius bambawalei* to the 3rd instar nymphs and adults of *Phenacoccus solenopsis*

寄主虫态 Developmental stage of host	功能反应方程 Equation of functional response	相关系数 Correlation coefficient r	卡方 Chi-square χ^2	瞬间攻击率 Attack rate α	处理时间 Handing time T_h	寄生上限 Maximum parasitized $N_{a\ max}$
3 龄若虫 3rd instar nymph	$N_a = 0.9488N/(1+0.0449N)$	0.9850**	0.0071	0.9488	0.0449	22.2717
雌成虫 Female adult	$N_a = 0.8251N/(1+0.1320N)$	0.9770**	0.0111	0.8251	0.1320	7.5188

* $P<0.05$; ** $P<0.01$. 下同 The same below.

表 2　班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫和成虫的寻找效应

Table 2　Searching efficiencies of *Aenasius bambawalei* to the 3rd instar nymphs and adults of *Phenacoccus solenopsis*

寄主虫态 Developmental stage of host	班氏跳小蜂密度 P Parasitoid density (number of individuals per container)	被寄生寄主数量 N_a Number of parasitized hosts	寻找效应 E Searching efficiency
3 龄若虫 3rd instar nymph	2	11.60 ± 0.75 d	0.1933
	4	14.00 ± 0.55 c	0.1167
	6	17.80 ± 1.24 b	0.0989
	8	19.80 ± 0.80 ab	0.0825
	10	20.40 ± 0.51 a	0.0680
雌成虫 Female adult	2	4.40 ± 0.51 c	0.0733
	4	5.00 ± 0.55 c	0.0417
	6	6.80 ± 0.66 b	0.0378
	8	9.40 ± 0.40 a	0.0392
	10	9.20 ± 0.58 a	0.0307

表中同一龄期的同一列数据(平均值 ± SE)后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法多重比较后寄生蜂不同密度间在 $P<0.05$ 水平上差异显著。Means ± SE of the same developmental stage within a column followed by different letters are significantly different among different density of parasitoids at $P<0.05$ based on analysis of variance (Duncan's test).

表 3　班氏跳小蜂自身密度对其寄生作用的干扰效应

Table 3　Interference effects of the density of *Aenasius bambawalei* on its parasitism

寄主虫态 Developmental stage of host	干扰效应理论模型 Interference effect theory model	相关系数 Correlation coefficient r	搜寻常数 Searching coefficient Q	干扰系数 Disturbance coefficient m	卡方检验 Chi-squared test χ^2
3 龄若虫 3rd instar nymph	$E = 0.2931P^{-0.6240}$	0.9950**	0.2931	0.6240	0.0044
雌成虫 Female adult	$E = 0.0944P^{-0.4840}$	0.9430*	0.0944	0.4840	0.0453

能反应均为 Holling Ⅱ 型，即逆密度制约的关系。当扶桑绵粉蚧 3 龄若虫和雌成虫的密度分别大于 15 头/容器和 10 头/容器时，寄生量增加幅度开始减小。同时，试验还发现随着扶桑绵粉蚧虫龄增长

及个体变大(雌成虫个体大小约为 3 龄若虫的 1 倍以上)，班氏跳小蜂对其寄生的瞬间攻击率减少，而处理时间增加。天敌对害虫的攻击系数与处理时间之比(α/T_h)是衡量天敌作用的参数之一，α/T_h 值越大，表明对害虫的控制能力越强(牟吉元等，1997)。本试验中班氏跳小蜂雌蜂对 3 龄若虫的控制能力($\alpha/T_h=21.1307$)要明显强于对雌成虫的控制($\alpha/T_h=6.2506$)，这种差异或许与寄主体内营养以及寄主防御能力大小有关。

班氏跳小蜂自身密度对其寄生活动也有一定影响，当该蜂自身密度较低时，其搜寻寄主的成功概率较高，而且不易受到其他个体的干扰；随着该蜂自身密度的增加，单头雌蜂可成功搜寻的寄主数量相对减少，个体之间产生了竞争和干扰，其寻找效应值开始降低，从而导致实际被寄生的扶桑绵粉蚧数量反而下降。因此，在室内大量繁育班氏跳小蜂时，尤其要控制好雌蜂与扶桑绵粉蚧的比例，保证寄主的合理利用并维持较为稳定的寄生率。由于本试验未考虑大田因素对班氏跳小蜂寄生功能的影响，因此田间合适的放蜂比例以及风险评估方面还有待进一步深入研究。有研究表明班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 2 龄若虫(雌虫)、3 龄若虫以及雌成虫均有寄生行为(黄玲等，2011)，但是本试验未将 2 龄若虫作为供试虫体，是由于实际操作中很难区分该龄期雌雄个体(末期则可根据虫体蜡粉层的厚度进行区分)。本室内研究结果显示，班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧 3 龄若虫及雌成虫的寄生作用较大，对其发生具有一定的调控作用。该研究能在一定程度上评估班氏跳小蜂的寄生潜能，为其利用并开展扶桑绵粉蚧的生物防治提供科学依据。

参考文献 (References)

Chen HY, Cao RX, Xu ZF, 2010. First record of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) from China. *Journal of Environmental Entomology*, 32(2): 280 – 282. [陈华燕，曹润欣，许再福，2010. 扶桑绵粉蚧寄生蜂优势种 *Aenasiusbam bawalei* Hayat 记述. 环境昆虫学报，32(2): 280 – 282]

Chen HY, He LF, Zheng CH, Li P, Yi QH, Xu ZF, 2011. Survey on the natural enemies of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) from Guangdong and Hainan, China. *Journal of Environmental Entomology*, 33(2): 269 – 272. [陈华燕，何鄉芬，郑春红，李盼，易晴辉，许再福，2011. 广东和海南扶桑绵粉蚧的天敌调查. 环境昆虫学报，33(2): 269 – 272]

Cockerell TDA, 1902. Two new mealy-bugs from New Mexico. *Canadian Entomologist*, 34(2): 315 – 316.

Dhawan AK, Singh K, Saini S, Aneja A, Singh J, 2011. Parasitizing potential of parasitoid (*Aenasius bambawalei*) on mealybug (*Phenacoccus solenopsis*) in cotton (*Gossypium* spp) and weed plants. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(1): 97 – 99.

Fand B, Gautam RD, Suroshe S, 2011. Suitability of various stages of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae) for development and survival of the solitary endoparasitoid, *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Biocontrol Science and Technology*, 21(1): 51 – 55.

Guan X, Zeng L, Lu YY, 2011. Potential of invasion and colonization for the cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley populations in cotton and tomato fields in Guangzhou, China. *Journal of Biosafety*, 20(3): 192 – 197. [关鑫，曾玲，陆永跃，2011. 广州地区自然条件下扶桑绵粉蚧入侵定殖能力研究. 生物安全学报，20(3): 192 – 197]

Hassell MP, 1969. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* (L.) (Geometridae) at Wytham, Berkshire. *Journal of Animal Ecology*, 38: 567 – 576.

Hayat M, 2009. Description of a new species of *Aenasius* Walker (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) in India. *Biosystematica*, 3(1): 21 – 26.

Hodgson CJ, Abbas G, Arif MJ, Saeed S, Karar H, 2008. *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Coccoidea: Pseudococcidae), a new invasive species attacking cotton in Pakistan and India, with a discussion on seasonal morphological variation. *Zootaxa*, 1913: 1 – 35.

Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91: 385 – 389.

Huang F, Zhang PJ, Zhang JM, Zhu YY, Lu YB, Zhang ZJ, 2011. Effects of three host plants on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis*. *Plant Protection*, 37(4): 58 – 62. [黄芳，张蓬军，章金明，朱艺勇，吕要斌，张治军，2011. 三种寄主植物对扶桑绵粉蚧发育和繁殖的影响. 植物保护，37(4): 58 – 62]

Huang L, Liu H, Xiao TG, Zhou SW, 2011. Biology of *Aenastus bambawalei*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1734 – 1737. [黄玲，刘慧，肖铁光，周社文，2011. 扶桑绵粉蚧寄生性天敌班氏跳小蜂生物学研究. 应用昆虫学报，48(6): 1734 – 1737]

Lu YY, Zeng L, Wang L, Xu YJ, Chen KW, 2008. Precaution of solenopsis mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *Journal of Environmental Entomology*, 30(4): 386 – 387. [陆永跃，曾玲，王琳，许益镌，陈科伟，2008. 警惕一种危险性绵粉蚧入侵中国. 环境昆虫学报，30(4): 386 – 387]

Mou JY, Xu HH, Li HJ, 1997. Insect Ecology and Forecast of Agricultural Pests. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. 56 – 57. [牟吉元，徐洪富，李火苟，1997. 昆虫

生态与农业害虫预测预报. 北京：中国农业科技出版社. 56 - 57］

Prasad YG, Prabhakar M, Sreedevi G, Ramachandra Rao G, Venkateswarlu B, 2012. Effect of temperature on development, survival and reproduction of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton. *Crop Protection*, 39: 81 - 88.

Prasad YG, Prabhakar M, Sreedevi G, Thirupathi M, 2011. Spatio-temporal dynamics of the parasitoid, *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) on mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in cotton based cropping systems and associated weed flora. *Journal of Biological Control*, 25(3): 198 - 202.

Rishi K, Kranthi KR, Monga D, Jat SL, 2009. Natural parasitization of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton by *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Biological Control*, 23(4): 457 - 460.

Tinsley JD, 1898. An ants'-nest coccid from New Mexico. *Canadian Entomologist*, 30: 47 - 48.

Vennila S, Deshmukh AJ, Pinjarkar D, Agarwal M, Ramamurthy VV, Joshi S, Kranthi KR, Bambawale OM, 2010. Biology of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* on cotton in the laboratory. *Journal of Insect Science*, 10: 1 - 9.

Vijaya, Pala Ram, Saini RK, 2011. Biology of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Insect Science*, 24 (1): 99 - 101.

Wang YY, Xu ZH, Zhang LL, Shen LZ, Fu SL, 2012. Developmental duration and life table of the laboratory population of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) fed on pumpkin at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 55(1): 77 - 83. ［王莹莹，徐志宏，张莉丽，沈励泽，傅思丽，2012. 南瓜寄主上扶桑绵粉蚧不同温度下的发育历期和实验种群生命表. 昆虫学报，55(1): 77 - 83］

Wu SA, Zhang RZ, 2009. A new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, threatening seriously to cotton production. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(1): 159 - 162. ［武三安，张润志，2009. 威胁棉花生产的外来入侵新害虫——扶桑绵粉蚧. 昆虫知识，46(1): 159 - 162］

Zhang PJ, Zhu XY, Huang F, Liu Y, Zhang JM, Lu YB, Ruan YM, 2011. Suppression of jasmonic acid-dependent defense in cotton plant by the mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *PLoS ONE*, 6 (7): e22378.

Zhang YP, Li DS, Zhang BX, Chen MY, Zhong J, Song Y, 2010. Functional response of *Spalangia endius* Walker to pupae of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and influence of temperature and relative humidity on longevity of adult *S. endius*. *Chinese Journal Biological Control*, 26(4): 385 - 390. ［章玉苹，李敦松，张宝鑫，陈明洋，钟娟，宋月，2010. 蝇蛹俑小蜂对桔小实蝇蛹的功能反应及温湿度对蜂成虫寿命的影响. 中国生物防治，26(4): 385 - 390］

Zheng T, Cui XH, Wang T, Xu XH, Xu DC, Shang HW, 2011. Effects of starvation on survival rate and oviposition of the invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal of Biosafety*, 20(3): 239 - 242. ［郑婷，崔旭红，汪婷，徐显皓，徐栋超，商晗武，2011. 饥饿对扶桑绵粉蚧存活率和产卵量的影响. 生物安全学报，20(3): 239 - 242］

Zhou AM, Lu YY, Zeng L, Xu YJ, Liang GW, 2012. Does mutualism drive co-invasion? The case of *Solenopsis invicta* and *Phenacoccus solenopsis*. *PLoS ONE*, 7(7): e41856.

Zhu YY, Huang F, Lu YB, 2011. Bionomics of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton. *Acta Entomologica Sinica*, 54(2): 246 - 252. ［朱艺勇，黄芳，吕要斌，2011. 扶桑绵粉蚧生物学特性研究. 昆虫学报，54(2): 246 - 252］

（责任编辑：武晓颖）